

УДК 69.003

Научная статья

https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-93-103



Оценка напряженно-деформированного состояния оснований зданий с гибкой конструктивной схемой при неравномерном напластовании грунтов



В.Н. Жур ✉, **А.Р. Пасько**

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

✉ gvn.07@mail.ru

Аннотация

Введение. Одной из основных проблем при эксплуатации зданий и сооружений является вероятность их повреждения в результате неравномерных деформаций грунтового основания, спровоцированных различными природно-техногенными причинами. Для установления возможного характера и степени повреждений надземных конструкций необходимо рассчитывать величину относительной разности осадок основания под подошвой фундаментов. Осадка основания рассчитывается в пределах сжимаемой толщи с использованием величин удельного веса и модуля деформации грунта. Приращение осадки обуславливается приростом вертикальных напряжений в массиве и повышением деформируемости грунта при увеличении влажности. Целью исследования является установление зависимости величины относительной разности осадок от деформационных свойств грунтов при неравномерном залегании слоев для прогнозирования характера повреждения надземных конструкций.

Материалы и методы. Рассмотрен пример расчета деформаций основания в уровне подошвы отдельно стоящих фундаментов здания с гибкой конструктивной схемой. Применена модель напластования двух разнородных инженерно-геологических элементов с уклоном границы 1:4 и различающимися физико-механическими свойствами. Принято, что один из инженерно-геологических элементов обладает пригодными характеристиками для опирания на него фундаментов здания без предварительной инженерной подготовки. Другой инженерно-геологический элемент обладает значительно худшими параметрами. Расчеты произведены в соответствии с методикой определения осадки методом послойного суммирования.

Результаты исследования. Установлена закономерность в изменении величины прогнозируемой осадки от соотношения мощности залегания надежного и слабого грунта при неравномерном напластовании. Доказано, что разность между величиной удельного веса разнородных пластов в пределах 10 % никак не влияет на глубину сжимаемой толщи при расчете осадки методом послойного суммирования.

Обсуждение и заключения. Проведен анализ результатов расчета осадки основания равноудаленных друг от друга столбчатых фундаментов, предложено инженерное решение, обеспечивающее надежность по группам предельных состояний.

Ключевые слова: фундаменты, неравномерные деформации, послойное суммирование, разность осадок

Для цитирования. Жур В.Н., Пасько А.Р. Оценка напряженно-деформированного состояния оснований зданий с гибкой конструктивной схемой при неравномерном напластовании грунтов. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2023;2(3):93–103 https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-93-103

Original article

Stress-Strain State Assessment of Building Subfoundations Having Flexible Constructive Scheme in Irregular Soil Stratification

Vyacheslav N. Zhur ✉, **Aleksander R. Pasko**

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ gvn.07@mail.ru

Abstract

Introduction. One of the main problems in the operation of buildings and structures is possibility of their damage due to non-uniform deformation of subfoundation soil caused by the various natural and technogenic factors. To establish the possible character and degree of damage of the above-surface structures, it is necessary to calculate the value of subfoun-

dation relative differential settlement at the level beneath the foundation bottom. The subfoundation settlement is calculated within the compressible soil thickness using the specific gravity values and soil deformation modulus. The increment of settlement is induced by the increase of vertical stresses in the massif and increase of soil deformability upon growth of moisture. The purpose of the study is to establish the dependence of the magnitude of the relative difference in settlement on the deformation properties of soils with uneven occurrence of layers in order to predict the nature of damage to above-ground structures.

Materials and Methods. An example of subfoundation deformation calculations at the bottom level of the free-standing foundations of a building having flexible constructive scheme has been studied. A model of stratification of two heterogeneous geotechnical elements with a 1:4 boundary slope and differing physical and mechanical properties has been used. It has been assumed that one of the geotechnical elements has natural properties enabling the building foundations to rest on it without prior site preparation. Another geotechnical element has significantly worse properties. The calculations on determining the settlement have been made in accordance with the layer-wise summation methodology.

Results. The regularity in alteration of the predicted settlement value depending on the ratio of firm and soft soils thickness in the irregular stratification has been established. It has been proven that the difference between the specific gravity values of the heterogeneous beds within 10 % does not affect the depth of compressible soil thickness if the calculation of settlement is made using the layer-wise summation methodology.

Discussion and conclusions. The calculation results analysis of the subfoundation settlement of the equidistant column foundations was carried out, the engineering solution was proposed to ensure reliability per limit state groups.

Key words: foundations, non-uniform deformation, layer-wise summation, difference of soil settlements

For citation. Zhur VN, Pasko AR. Stress-Strain State Assessment of Building Subfoundations Having Flexible Constructive Scheme in Irregular Soil Stratification. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2023;2(3):93–103 https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-3-93-103

Введение. Для современного этапа экономического и общественного развития в России характерно расширение строительного производства и проведение масштабного строительства в крупных городах — мегаполисах. Данный процесс сопровождается постоянным ростом сложности возводимых объектов и условий, в которых осуществляется их строительство. В связи с этим ставятся новые задачи по обеспечению безопасности жизнедеятельности в условиях мегаполиса, определяющиеся надежностью самих строящихся сооружений и осуществлением строительного процесса в условиях действующей инфраструктуры [1, 2].

Одной из основных проблем при эксплуатации зданий и сооружений в крупных городах является возможность их повреждения в результате неравномерных деформаций грунтового основания, спровоцированных различными природно-техногенными причинами. Особое значение приобретает необходимость контроля технического состояния несущих конструкций с целью предупреждения возникновения аварийных ситуаций и обоснованность выбора комплекса инженерных мероприятий по их недопущению [1, 2].

Очевидно, что оценка технического состояния несущей конструкции здания или сооружения должна быть своевременной. Необходимо предусмотреть возможность оценки изменений по различным критериям, основанной на процедурах выявления соответствия фактических параметров нормативным требованиям к прочности, жесткости и устойчивости элементов конструкции [2].

В современном строительстве очень часто встречаются объекты с гибкой конструктивной схемой, например, промышленные здания с металлическими фермами или балками. Их особенностью является то, что закрепление фермы или балки с колонной, стеной осуществляется через шарнир, то есть посредством реализации подвижной схемы. Важно учесть, что основным признаком гибкой конструктивной схемы является отсутствие жесткой заделки в местах соприкосновения основных несущих элементов и опор.

При неравномерном напластовании грунтов выделяют следующие схемы деформирования основания (рис. 1):
– выклинивание слоев;
– линзообразное залегание;
– прогиб при неоднородном залегании;
– выгиб при неоднородном залегании [3].

Выклинивание слоев происходит из-за того, что более сильный грунт вытесняет более слабый. Данное явление может возникнуть в результате землетрясений, суффозионного выноса частиц грунта в части основании под зданием. Причиной линзообразного и неоднородного залегания слоев может быть техногенное воздействие, например, при вертикальной планировке тальвегов и балок насыпными грунтами. Вышеописанные ситуации возникают в условиях залегания органоминеральных, насыпных и других видов структурно-неустойчивых грунтов.

Разрушение структурных связей между отдельными частицами при водонасыщении увеличивает деформируемость грунта и повышает вероятность развития сил морозного пучения. Например, у просадочных или органоминеральных грунтов может наблюдаться четырехкратное снижение величины модуля деформации [4–6].

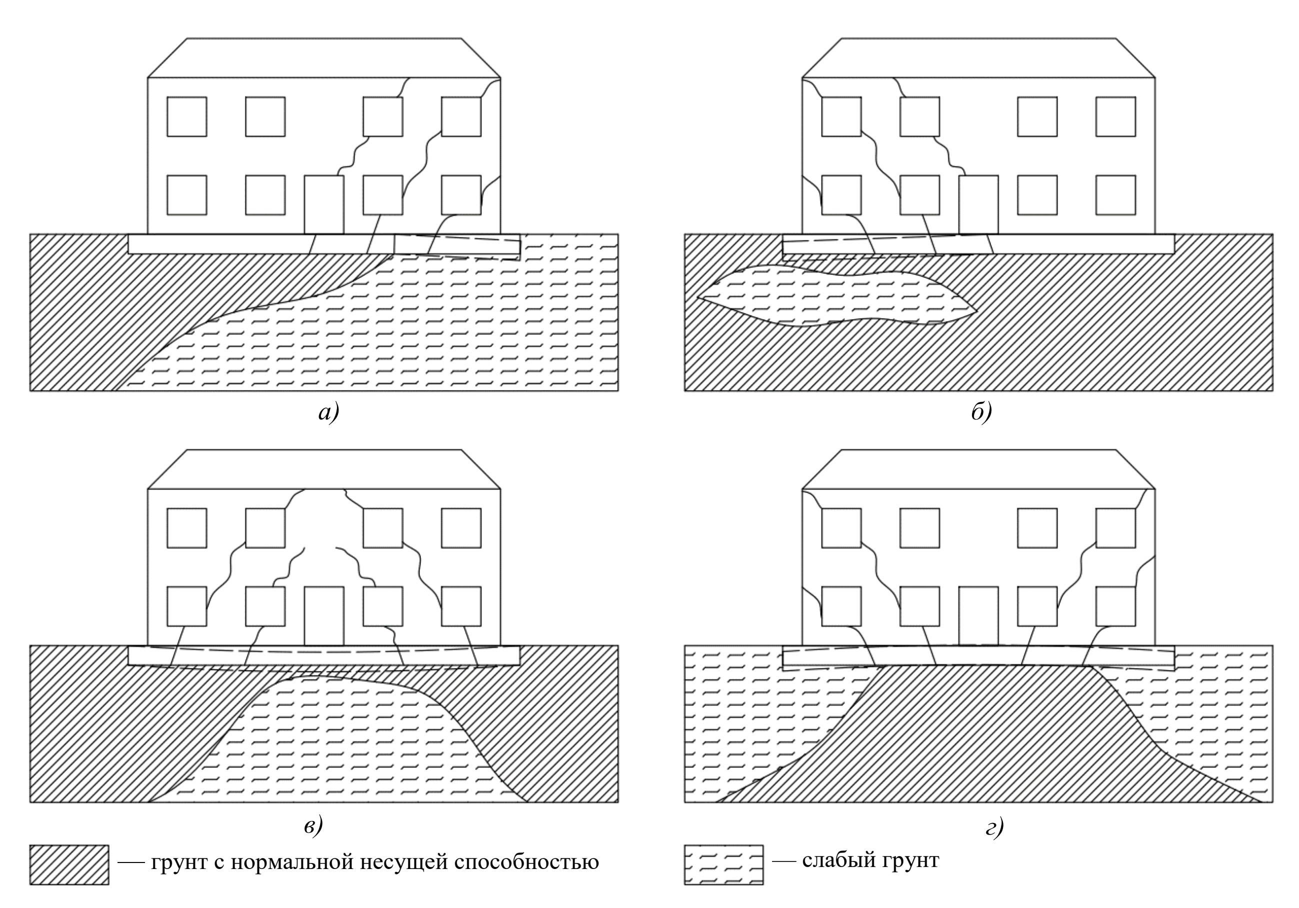


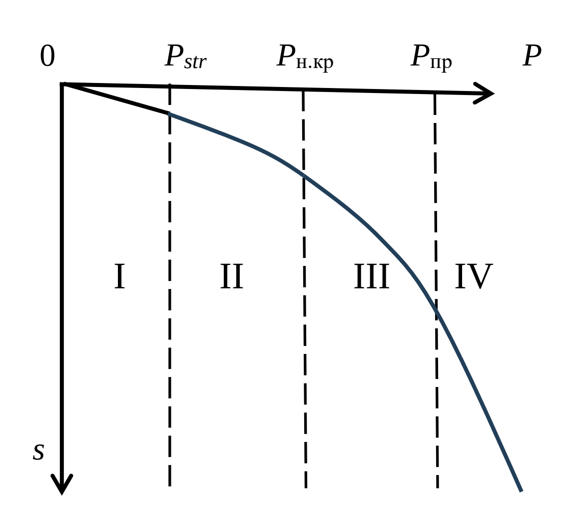
Рис. 1. Схемы деформирования основания при неравномерном напластовании грунтов: *а* — выклинивание слоев; *б* — линзообразное залегание; *в* — прогиб при неоднородном залегании; *г* — выгиб при неоднородном залегании

При выявлении подобных схем неравномерного залегания инженерно-геологических элементов целесообразно выбирать такие размеры контактной части фундамента, которые смогут обеспечить равномерную осадку в пределах всей площади застройки. Для инженеров-строителей, специализирующихся на проектировании подземной части зданий, будет крайне удобным иметь типовые справочные данные при оценке вероятности неравномерных осадок основания. В целях получения такого массива данных предлагается выполнить ряд расчетных операций по определению относительной разности осадок основания при различных вариациях напластования слабых и структурно устойчивых грунтов. Поэтому целью исследования является установление зависимости величины относительной разности осадок от деформационных свойств грунтов при неравномерном залегании слоев для прогнозирования характера повреждения надземных конструкций.

Материалы и методы. При передаче нагрузок на основание в массиве грунта формируется напряженно-деформируемое состояние, описываемое четырьмя основными фазами.

Выделяются следующие фазы: I — упругая; II — уплотнение; III — сдвиг; IV — разрушение (выпор) грунта (рис. 2). В первой фазе упругие деформации малы (ими можно пренебречь), являются обратимыми, обеспечены только структурной прочностью. Вторая фаза характеризуется развитием пластических деформаций, обусловленных уменьшением объема пор. Перемещения частиц грунта направлены преимущественно по вертикали, под подошвой формируется область (ядро) уплотненного грунта. Выход областей сдвига на поверхность грунта приводит к наступлению третьей фазы — разрушению структуры основания с вертикальными и горизонтальными перемещениями частиц. Для четвертой фазы характерны многочисленные локальные разрушения скелета грунта, из-за которых грунт приобретает свойства жидкого тела [4, 7].

Принято считать, что фазы I и II отражают нормальное, контролируемое поведение грунта при воздействии нагрузок, в то время как наступление фаз III и IV несет угрозу нормальной эксплуатации здания. Переход из одной фазы в другую может быть не только за счет увеличения давления на массив, но и при снижении сопротивления грунта за счет увеличения влажности и деградации структуры, сопровождающейся приращением деформаций.



P_{str} — структурная прочность грунта
$P_{н.кр}$ — начальная критическая нагрузка
$P_{пр}$ — предельное давление на основание
s — деформации основания

Рис. 2. Фазы напряженно-деформированного состояния грунта

При строительстве на основаниях с возможным неравномерным напластованием слоев важно учитывать то, что конструктивная схема здания должна быть гибкой. Для оценки напряженно-деформированного состояния оснований зданий нужно учитывать тип фундамента [8]. Для зданий с гибкой конструктивной схемой назначаются отдельно стоящие столбчатые фундаменты под колонны (рис. 3).

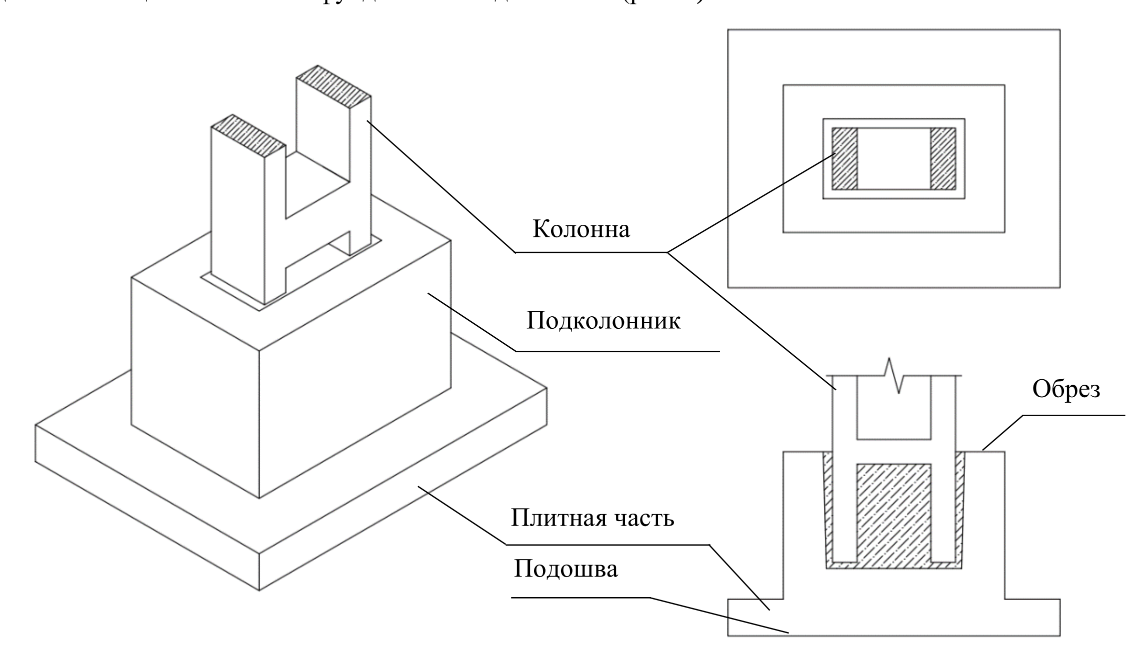


Рис. 3. Пример столбчатого фундамента под двухветвевую колонну

Дадим оценку напряженно-деформированного состояния оснований зданий с гибкой конструктивной схемой при неравномерном напластовании грунтов.

В качестве типового примера рассмотрим конструктивную систему из шести отдельно стоящих фундаментов и рассчитаем передаваемую на них нагрузку от вышележащих надземных конструкций в программном комплексе «STARK ES» (рис. 4). Благодаря возможности рассчитать самые неблагоприятные сочетания усилий в уровне обреза фундамента, принято среднее давление по его подошве 300 кПа.

Применена модель напластования двух разнородных инженерно-геологических элементов (далее — ИГЭ) с уклоном границы 1:4 и различающимися физико-механическими свойствами. Принято, что инженерно-геологический элемент № 1 значительно хуже по физико-механическим параметрам, чем инженерно-геологический элемент № 2, который обладает надежными характеристиками для опирания на него фундаментов здания без предварительной инженерной подготовки [9–11] (рис. 5).

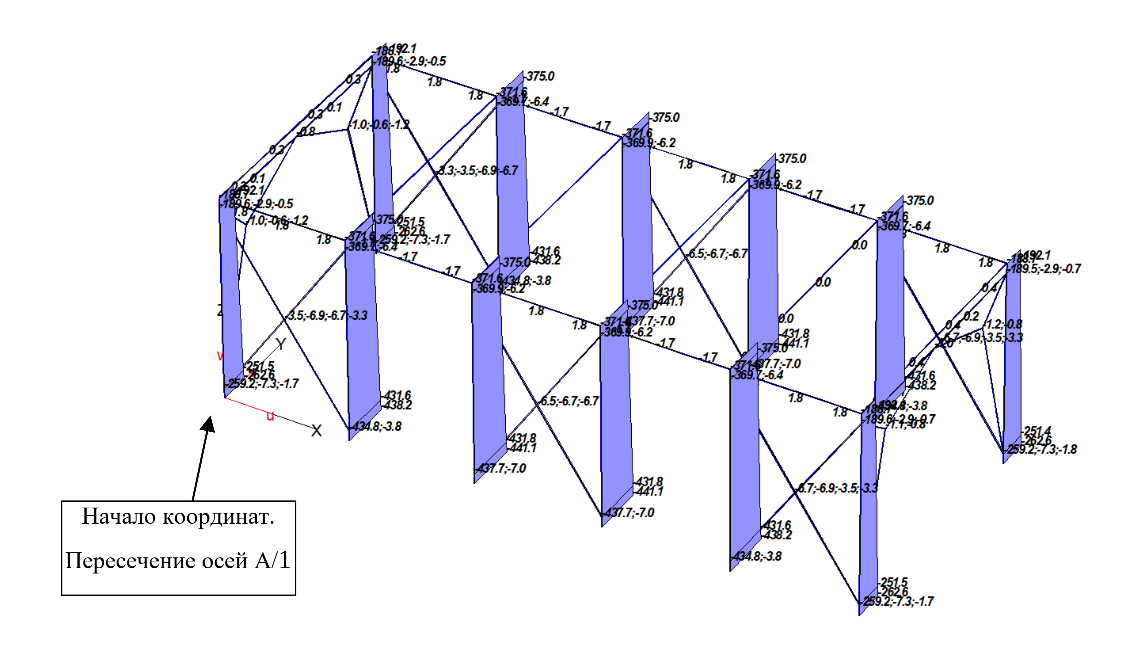


Рис. 4. Расчетная схема здания с усилиями

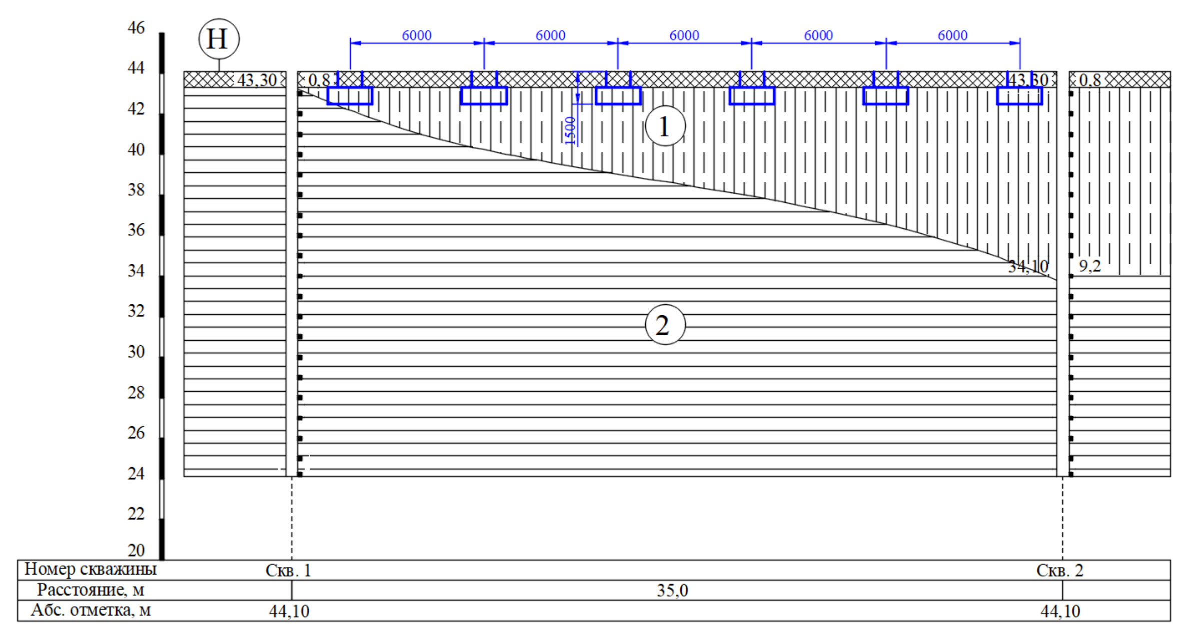


Рис. 5. Инженерно-геологический разрез

Конструктивная схема здания — гибкая, рамно-связевой стальной каркас без устройства дополнительных монолитных поясов или перекрытий. Согласно таблице Г1 СП 22.13330.2016[1] предельная средняя осадка для здания с вышеуказанной конструктивной схемой составляет 15 см.

Параметры фундаментов:

– тип — столбчатый под металлическую колонну;
– глубина заложения d = 1,5 м;
– ширина подошвы b = 2,1 м;
– соотношение сторон прямоугольной подошвы η = 1,4;
– шаг фундаментов в продольном направлении B = 6,0 м;
– среднее давление по подошве фундамента P = 300 кПа.

[1] СП 22.13330.2016 *«Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*»*. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: https://docs.cntd.ru/document/456054206 (дата обращения: 05.04.2023)

Расчет ведется методом послойного суммирования в соответствии с п. 5.6.31 СП 22.13330.2016. Принятая толщина слоя $h_i = 0{,}4b = 0{,}84$ м. Количество слоев ориентировочно принято равным восьми.

Результаты исследования. Расчет параметров напряженно-деформированного состояния предполагается рассматривать при 2 вариантах характеристик грунта ИГЭ-1, который обладает худшими физико-механическими свойствами по сравнению с ИГЭ-2.

Первый вариант характеристик грунтов основания:

– ИГЭ-1 — дисперсный грунт, связный, с содержанием песчанистых частиц более 40 % по массе, удельный вес $\gamma = 17{,}1$ кН/м^3, модуль деформации $E = 11{,}0$ МПа;

– ИГЭ-2 — дисперсный грунт, связный, с содержанием песчанистых частиц менее 40 % по массе, удельный вес $\gamma = 19$ кН/м^3, модуль деформации $E = 22{,}2$ МПа.

В соответствии с моделью напластования грунтов рассчитаем осадку и глубину сжимаемой толщи для каждого фундамента. Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Расчет осадок основания фундаментов № 1–6 при 1-м варианте характеристик грунтов

№ фундамента	Расстояние от оси крайнего фундамента до оси *i*-го фундамента *X*, м	Абсолютная глубина нижней границы сжимаемой толщи $H_{нгст}$, м	Относительная глубина сжимаемой толщи $H_{нгст}/b$	Величина осадки *s*, м	Относительная разность осадок между соседними фундаментами $\Delta s/B$	Относительная разность осадок фундамента № 1 и *i*-го фундамента $\Delta s/B$
1	0	3,942	1,88	0,0285	0,0010	0,0010
2	6	3,967	1,89	0,0343	0,0006	0,0008
3	12	3,991	1,90	0,0379	0,0004	0,0007
4	18	4,016	1,91	0,0402	0,0003	0,0006
5	24	4,035	1,92	0,0417	0,0000	0,0004
6	30	4,035	1,92	0,0417	-	-

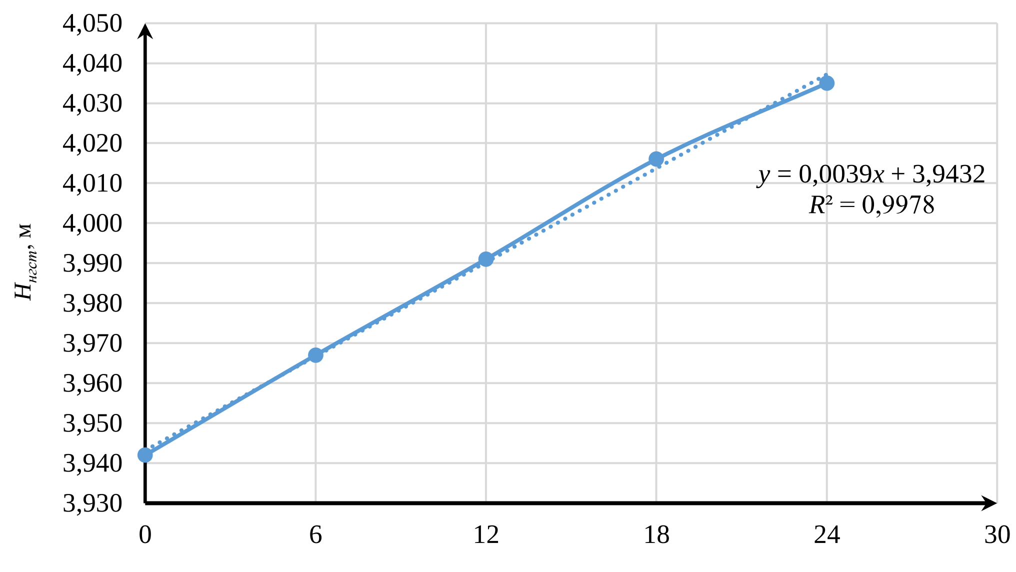


Рис. 6. График зависимости глубины нижней границы сжимаемой толщи от расстояния от оси крайнего фундамента до оси *i*-го фундамента (1 вариант)

Второй вариант характеристик грунтов основания:

– ИГЭ-1 — дисперсный грунт, связный, органоминеральный, высокопористый с содержанием песчанистых частиц менее 40 % по массе, удельный вес $\gamma = 16$ кН/м^3, модуль деформации $E = 5{,}6$ МПа;

– ИГЭ-2 — дисперсный грунт, связный, с содержанием песчанистых частиц менее 40 % по массе, удельный вес $\gamma = 19$ кН/м^3, модуль деформации $E = 22{,}2$ МПа.

В соответствии с моделью напластования грунтов рассчитаем осадку и глубину сжимаемой толщи для каждого фундамента. Результаты расчетов представлены в таблице 2.

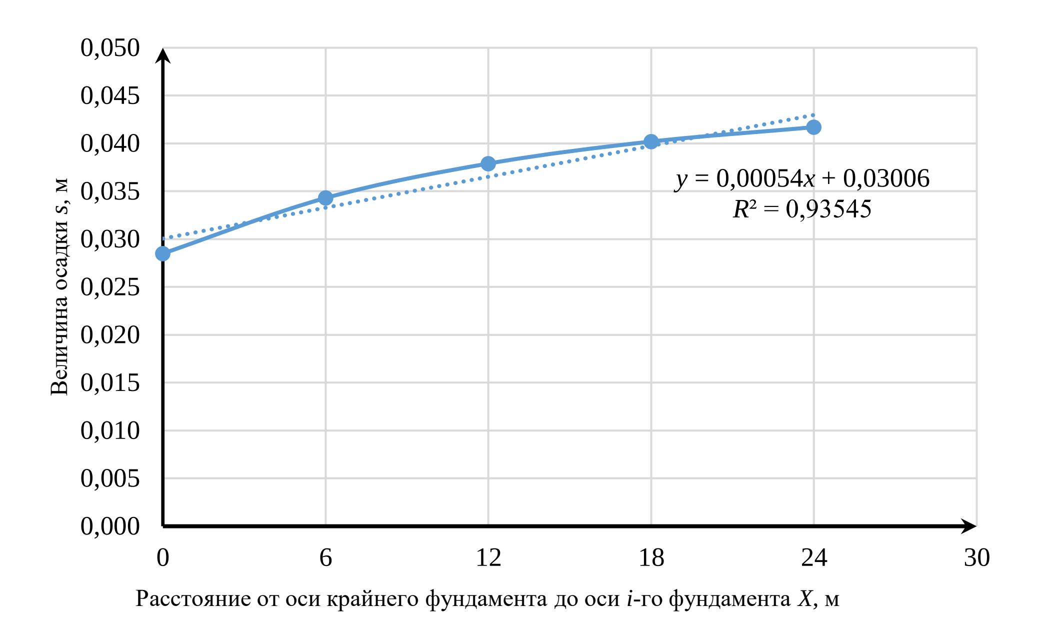


Рис. 7. График зависимости величины осадки от расстояния от оси крайнего фундамента до оси *i*-го фундамента (1 вариант)

Таблица 2

Расчет осадок основания фундаментов № 1–6 при 2-м варианте характеристик грунтов

№ фунда-мента	Расстояние от оси крайнего фундамента до оси *i*-го фундамента *X*, м	Абсолютная глубина нижней границы сжимаемой толщи $H_{нгст}$, м	Относительная глубина сжимаемой толщи $H_{нгст}/b$	Величина осадки *s*, м	Относительная разность осадок между соседними фундаментами $\Delta s/B$	Относительная разность осадок фундамента №1 и *i*-го фундамента $\Delta s/B$
1	0	3,982	1,90	0,0437	0,0028	0,0028
2	6	4,020	1,91	0,0608	0,0018	0,0023
3	12	4,059	1,93	0,0714	0,0011	0,0019
4	18	4,097	1,95	0,0780	0,0007	0,0016
5	24	4,133	1,97	0,0824	0,0000	0,0013
6	30	4,133	1,97	0,0824	-	-

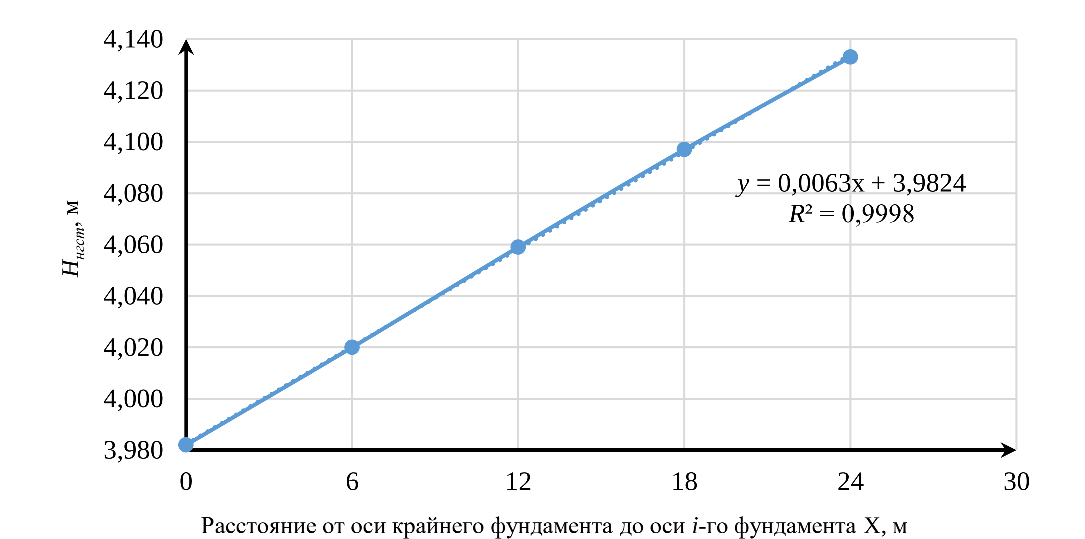


Рис. 8. График зависимости глубины нижней границы сжимаемой толщи от расстояния от оси крайнего фундамента до оси *i*-го фундамента (2 вариант)

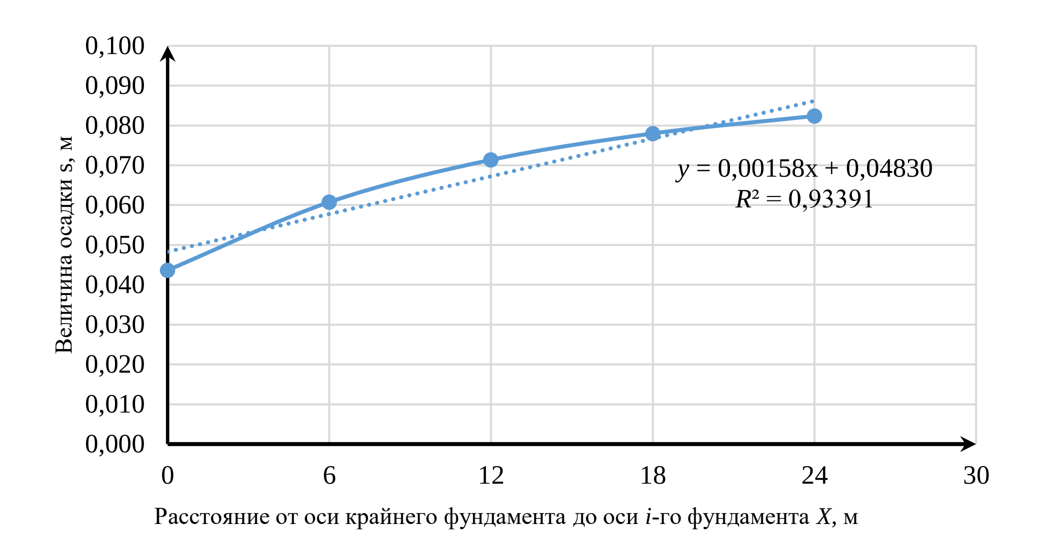


Рис. 9. График зависимости величины осадки от расстояния от оси крайнего фундамента до оси *i*-го фундамента (2 вариант)

При расчетах величины сжимаемой толщи при 1 варианте неоднородного напластования грунтов установлена линейная зависимость (рис. 6):

$$y = 0{,}0039x + 3{,}9432. \quad (1)$$

При расчетах величины сжимаемой толщи при 2 варианте неоднородного напластования грунтов установлена линейная зависимость (рис. 8):

$$y = 0{,}0063x + 3{,}9824. \quad (2)$$

Выполним замену переменных в уравнении:

y — глубина нижней границы сжимаемой толщи $H_{нгст}$;

x — расстояние до рассчитываемого фундамента в продольном направлении от начала координат $B_{x,i}$, в качестве которого выступает точка пересечения осей здания А/1 (рис. 4).

Константа в линейном уравнении (1), равная 3,9432 м — это начальная глубина расположения нижней границы сжимаемой толщи, зависящая от ширины подошвы b = 2,1 м фундамента, расположенного в точке пересечения осей А/1. Аналогично для уравнения (2), начальная глубина расположения нижней границы сжимаемой толщи равна 3,9824 м.

Тогда уравнения (1) и (2) примут вид:

$$H_{нгст} = 0{,}0039\, B_{x,i} + 1{,}9b. \quad (3)$$

$$H_{нгст} = 0{,}0063\, B_{x,i} + 1{,}9b. \quad (4)$$

Коэффициенты наклона аппроксимирующей прямой в уравнениях (3) и (4) выражают зависимость от изменения удельного веса при увеличении толщины залегания слабого грунта ниже подошвы фундамента.

Принято, что уклон границы между слоями грунта имеет соотношение 1:4. Тогда через каждые 6 м (расстояние между фундаментами вдоль пролета здания) глубина расположения кровли ИГЭ-2 будет увеличиваться на 1,5 м.

Запишем формулу для вычисления уклона границы между слоями грунта через величины ширины подошвы фундамента b и шаг колонн B:

$$i = 0{,}714b/B = 0{,}25. \quad (5)$$

При расчетах величины осадки при 1 варианте неоднородного напластования грунтов установлена линейная зависимость (рис. 7):

$$y = 0{,}00054x + 0{,}03006. \quad (6)$$

При расчетах величины осадки при 2 варианте неоднородного напластования грунтов установлена линейная зависимость (рис. 9):

$$y = 0{,}00158x + 0{,}04830. \quad (7)$$

Выполним замену переменных в уравнении:

y — величина осадки в рассматриваемом фундаменте s_i;

x — расстояние до рассчитываемого фундамента в продольном направлении от начала координат $B_{x,i}$, в качестве которого выступает точка пересечения осей здания А/1 (рис. 4).

Константа в линейном уравнении (6), равная 0,03006 м — это величина осадки под подошвой фундамента № 1, расположенного в точке пересечения осей А/1. Аналогично для уравнения (7), осадка под подошвой фундамента № 1, расположенного в точке пересечения осей А/1 составляет 0,04830.

Тогда уравнения (1) и (2) примут вид:

$$s_i = 0{,}00054\ B_{x,i} + 0{,}03006. \quad (8)$$

$$s_i = 0{,}00158\ B_{x,i} + 0{,}04830. \quad (9)$$

Коэффициенты наклона аппроксимирующей прямой в уравнениях (8) и (9) выражают зависимость от изменения модуля деформации при увеличении толщины залегания слабого грунта ниже подошвы фундамента.

На графиках (рис. 6–9) не показаны значения глубины нижней границы сжимаемой толщи и величины осадки для фундамента № 6, так как равны расчетным значениям для фундамента № 5.

Обсуждение и заключение. Результаты расчета параметров напряженно-деформированного состояния грунтового основания с неравномерным залеганием пластов при двух вариантах физико-механических свойств ИГЭ-1 позволяют сделать следующие выводы:

– при разности удельного веса грунта ИГЭ-1 и ИГЭ-2 в пределах 10 % и 16 % глубина нижней границы сжимаемой толщи изменяется не более чем на величину, равную 4 % и 7 % от подошвы фундамента соответственно;

– если модуль деформации ИГЭ-1 в 2 раза меньше модуля деформации ИГЭ-2, максимальное приращение осадки составляет 46 %, максимальная относительная разность осадок составляет 0,001, что не превышает предельно допустимых значений;

– если модуль деформации ИГЭ-1 в 4 раза меньше модуля деформации ИГЭ-2, максимальное приращение осадки составляет 88 %, максимальная относительная разность осадок составляет 0,0028, что не превышает предельно допустимых значений.

После обработки полученных результатов проявляется зависимость уменьшения или увеличения осадки от нескольких факторов:

– нагрузки на фундамент;
– типа слоев;
– количества и мощности слоев;
– геометрических размеров фундамента;
– глубины сжимаемой толщи.

При неравномерном напластовании грунтов нужно учитывать все вышеперечисленные факторы, чтобы уровнять глубину сжимаемой толщи и осадку здания. С целью анализа и расчета грунтового основания непосредственно перед строительством здания необходимо провести инженерно-геологические изыскания.

Характер залегания пластов грунтового основания практически не оказывает влияния на надежность зданий по II группе предельных состояний с гибкой конструктивной схемой и стальным каркасом. Глубина сжимаемой толщи при рассмотренном варианте залегания грунтов и физико-механических свойств ИГЭ-1 и ИГЭ-2 изменяется не более чем на 7 % от ширины подошвы фундаментов. Максимальная разность осадок не превышает предельно допустимое значение, что не влияет на эксплуатационную пригодность зданий с гибкой конструктивной схемой.

Список литературы

1. Далматов Б.И. *Механика грунтов, основания и фундаменты (включая специальный курс инженерной геологии)*: 7-е изд., стер. Санкт-Петербург: Лань; 2022. 416 с. URL: https://e.lanbook.com/book/254639 (дата обращения: 14.07.2023).

2. Шерешевский И.А. *Конструирование промышленных зданий и сооружений*. Москва: Архитектура-С; 2005. 168 с.

3. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Под общей ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. Москва: Изд-во АСВ; 2014. 728 с.

4. Жур В.Н. Исследование влияния параметров инженерно-геологических элементов грунтовых оснований на величину осадки фундаментов. *Научное обозрение*. 2014;(9):859–863.

5. Прокопов А.Ю., Ткачева К.Э., Жур В.Н. *Анализ причин неравномерных деформаций основания металлического резервуара.* В: Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: материалы 11-й Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. Под общей редакцией Р.А. Ковалева; 2015. С. 203.

6. Prokopov A, Zhur V, Medvedev A. *Application of The Cartographic Method of Research for the Detection of the Dangerous Zones of Mining Industrial Territories*. In: MATEC Web Conf. XXVII R-S-P Seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (27RSP) (TFoCE 2018); 2018. 196 p.

7. Гридневский А.В. Комплексная оценка геологических опасностей территорий Ростовской области. *Инженерный вестник Дона*. 2013(3(26)). URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1946 (дата обращения: 22.07.2023).

8. Коновалов П.А., Коновалов В.П. *Основания и фундаменты реконструируемых зданий:* Монография. М. Издательство Ассоциации строительных вузов; 2011. 384 с.

9. Прокопова М.В., Лукьянова Г.В. *О возможных изменениях свойств грунтов при увеличении уровня подземных вод*. В: «Строительство-2011»: материалы международной научно-практической конференции. Ростов-на-Дону: Рост. гос. строит. ун-т; 2011. С. 144–145.

10. Семененко А.И., Тимошенко М.С. Проблемы оценки геологического риска урбанизированных территорий. *Инженерный вестник Дона*. 2013(4(27)). URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2204 (дата обращения: 04.07.2023).

11. Прокопов А.Ю., Прокопова М.В., Жур В.Н. *Исследование свойств лессовых просадочных грунтов Восточного Донбасса*. В: сборник научных трудов «Транспорт: наука, образование, производство. Том 2. Технические науки». Ростов-на-Дону: Рост. гос. ун-т путей сообщения; 2017. С. 354–358.

References

1. Dalmatov BI. *Mekhanika Gruntov, Osnovaniya i Fundamenty (Vklyuchaya Spetsial'nyi Kurs Inzhenernoi Geologii):* 7-th edition. Saint Petersburg: Lan' Publ.; 2022. 416 p. (In Russ.). URL: https://e.lanbook.com/book/254639 (accessed: 14.07.2023).

2. Shereshevskii IA. *Konstruirovanie Promyshlennykh Zdanii i Sooruzhenii. Manual for Students of Civil Engineering Majors*. Moscow: Arkhitektura-S Publ.; 2005. 168 p. (In Russ.).

3. Il'icheva VA, Mangusheva RA (eds). *Spravochnik Geotekhnika. Osnovaniya, Fundamenty i Podzemnye Sooruzheniya*. Moscow: ASV Publ.; 2014. 728 p. (In Russ.).

4. Zhur VN. Study of the Influence of the Parameters of Engineering-Geological Elements of Foundation Soils on the Scale of Foundations Settling. *Nauchnoe Obozrenie*. 2014; (9):859–863. (In Russ.).

5. Prokopov AYu, Tkacheva KEh, Zhur VN. *Analiz Prichin Neravnomernykh Deformatsii Osnovaniya Metallicheskogo Rezervuara.* In: Sotsial'no-Ehkonomicheskie i Ehkologicheskie Problemy Gornoi Promyshlennosti, Stroitel'stva i Ehnergetiki. Procedings of the 11th International Conference on the Problems of Mining, Construction and Energy. Kovalev RA (ed); 2015. P. 203. (In Russ.).

6. Prokopov A, Zhur V, Medvedev A. *Application of The Cartographic Method of Research for the Detection of the Dangerous Zones of Mining Industrial Territories*. In: MATEC Web Conf. XXVII R-S-P Seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (27RSP) (TFoCE 2018); 2018. 196 p.

7. Gridnevskii AV. Complex Assessment of Geological Hazards of the Territories of Rostov Region. *Engineering Journal of Don*. 2013(3(26)). (In Russ.). URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1946 (accessed: 22.07.2023).

8. Konovalov PA, Konovalov VP. *Soil Bases and Foundations of Buildings under Reconstruction*: Monograph. Moscow: Assotsiatsiya Stroitel'nykh Vuzov Publ.; 2011. 384 p. (In Russ.).

9. Prokopova MV, Luk'yanova GV. *O Vozmozhnykh Izmeneniyakh Svoistv Gruntov pri Uvelichenii Urovnya Podzemnykh Vod.* In: “Stroitel'stvo-2011”: Proceedings of the Internatioanl Sience and Practical Conference. Rostov-on-Don: Rostov State Civil Engineering University Publ; 2011. P. 144–145. (In Russ.).

10. Semenenko AI, Timoshenko MS. The problem of assessment of the geological risk of urbanized territories. *Engineering Journal of Don*. 2013(4(27)). (In Russ.). URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2204 (accessed: 04.07.2023).

11. Prokopov AYu, Prokopova MV, Zhur VN. *Issledovanie Svoistv Lessovykh Prosadochnykh Gruntov Vostochnogo Donbassa.* In: Transport, Science, Education, Production: Collected Papers. Vol.2. Technical Sciences. Rostov-on-Don: Rostov State Transport University Publ.; 2017. P. 354 – 358. (In Russ.).

Поступила в редакцию 05.08.2023
Поступила после рецензирования 25.08.2023
Принята к публикации 01.09.2023

Об авторах:

Жур Вячеслав Николаевич, доцент кафедры «Инженерная геология, основания и фундаменты» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, ScopusID, ORCID, gvn.07@mail.ru

Пасько Александр Романович, магистрант кафедры «Инженерная геология, основания и фундаменты» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, pasko.p77@mail.ru

Заявленный вклад соавторов:

В.Н. Жур — формирование основной концепции, анализ нормативных методик в области проектирования оснований и фундаментов, формулировка выводов.

А.Р. Пасько — выполнение численных расчетов, обработка массива данных, оформление графических материалов для статьи.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Received 05.08.2023
Revised 25.08.2023
Accepted 01.09.2023

About the Authors:

Vyacheslav N. Zhur, Cand.Sci.(Engineering)**,** Associate Professor of the Engineering Geology, Subfoundations and Foundations Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ScopusID, ORCID, gvn.07@mail.ru

Aleksandr R. Pasko, Master Student of the Engineering Geology, Subfoundations and Foundations Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ORCID, pasko.p77@mail.ru

Claimed contributorship:

VN Zhur — formulating the main concept, analysis of normative methodologies in the field of subfoundations and foundations designing, formulating the conclusions.

AR Pasko — making numerical calculations, data set processing, graphic design of article materials.

Conflict of interest statement: the authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.